

Viera MIKLÚŠOVÁ¹, František KREPELKA², Milan LABAŠ³

SÚVIS NIEKTORÝCH VELIČÍN ROTAČNÉHO VRTANIA HORNÍN A VZNIKAJÚCEHO
VIBRAČNÉHO SIGNÁLU

RELATION OF SEVERAL VARIABLES OF ROTARY DRILLING OF ROCKS AND ARISING
VIBRATION SIGNAL

Abstrakt

Rýchlosť postupu vrtacieho nástroja v hornine, merná objemová energia rozpojovania a pracovná schopnosť nástroja patria medzi hodnotiace veličiny efektívnosti procesu rozpojovania hornín rotačným vrtaním. Príspevok prezentuje priebehy efektívnych hodnôt zrýchlenia a priebehy dominantných frekvencií vibračného signálu vznikajúceho v priebehu vrtania v závislosti od týchto hodnotiacich veličín získané pri laboratórnom výskume rotačného vrtania viacerých druhov hornín.

Abstract

Advance rate of the drilling tool in rock, specific disintegration energy and working ability of the tool belong to the variables assessing the effectiveness of rock disintegration process by rotary drilling. The contribution presents the behaviour of the values of acceleration and dominant frequencies of vibration signal arising in the process of drilling, depending on the assessing variables acquired in the laboratory research of rotary drilling of various rock types.

Keywords: Rotary drilling, rock, vibration signal, optimization.

1 ÚVOD

V procese rozpojovania hornín vznikajú vibrácie. Ide o vynútené kmity, ktoré vznikajú v dôsledku pôsobenia vrtacieho nástroja na horninu. Vibračný signál je odozvou všetkých súčastí rozpojovacieho procesu, teda rozpojovacieho zariadenia, rozpojovacieho nástroja a tiež rozpojovaného materiálu, v našom prípade horniny, tiež závisí od stavu a vlastností týchto súčastí ale tiež od režimových parametrov, cez ktoré je rozpojovací proces riadený.

Ústav geotechniky SAV v Košiciach sa venuje výskumu rozpojovania hornín rotačným vrtaním. Táto technológia je v praxi využívaná jednak pri dobývaní ťžitkových nerastov a tiež pri výstavbe podzemných inžinierskych diel. Hlavným cieľom súčasnej výskumnej úlohy je využiť vibračný signál na riadenie rozpojovacieho procesu bez snímania prítlaku a otáčok.

V minulosti sme už pracovali s akustickým signálom a boli dosiahnuté isté výsledky. Pre obtiažny monitoring akustického signálu sme sa zamerali na vibračný signál.

Z doterajších výsledkov z výskumu vibroakustického signálu je známe, že každá zmena hociktorej zo súčastí rozpojovacieho procesu či zmena režimu vplývajú na jeho charakteristiky a menia ich priebeh, [1], [2], [3], [4]. Je preto potrebné poznať a využiť tieto súvislosti s ohľadom na uvedený cieľ riadenia.

¹ Mgr. Viera Miklúšová, PhD., Ústav geotechniky Slovenskej akadémie vied (ÚGt SAV), Watsonova 45, 043 53 Košice, SR, tel.: (421) 55 792 2639, e-mail: miklusv@saske.sk.

² Ing. František Krepelka, PhD., Ústav geotechniky Slovenskej akadémie vied (ÚGt SAV), Watsonova 45, 043 53 Košice, SR, tel.: (421) 55 7922640, e-mail: krepelka@saske.sk.

³ Ing. Milan Labaš, PhD., Ústav geotechniky Slovenskej akadémie vied (ÚGt SAV), Watsonova 45, 043 53 Košice, SR, tel.: (421) 55 7922648, e-mail: labas@saske.sk.

Zároveň naším ďalším cieľom je riadiť rozpojovací proces cez snímaný vibračný signál tak, aby prebiehal čo najefektívnejšie, teda aby sa dosahovali čo najvyššie rýchlosti vŕtania pri čo najmenej energii spotrebovanej na rozpojenie horniny.

2 METODIKA A VÝSKUM

Na získanie poznatkov s ohľadom na uvedený cieľ riadenia sme volili laboratórny výskum, pri ktorom využívame experimentálny laboratórny stand, ktorý umožňuje rotačné vŕtanie malopriemerovými vŕtacími nástrojmi používanými v prieskumnej praxi do rôznych hornín.

Počas vŕtania hornín na stande sú snímané a registrované veličiny rozpojovacieho procesu a to tlak p , výkon P , otáčky nástroja n , hĺbka vniku nástroja do horniny h a čas vŕtania t . Z týchto a iných známych údajov sa určuje priľacná sila na nástroj F , rýchlosť vŕtania v a merná objemová energia rozpojovania w .

Vibračný signál na laboratórnom stande je snímaný piezoelektrickými snímačmi zrýchlenia AC102-1A firmy CTC v rozsahu 0.5 - 15,000 Hz s rezonančnou frekvenciou snímača 23000 Hz v troch navzájom kolmých smeroch x , y a z . Smer x je totožný so smerom vŕtania, smer z je na neho kolmý a leží v horizontálnej rovine. Snímače sú mechanicky uchytené na rám vŕtacieho standu. Zaznamenaný vibračný signál zo snímačov je spracovávaný v on-line monitorovacím systéme vibrácií ADASH 3900 II a následne počítačovo vyhodnocovaný v časovej aj frekvenčnej oblasti.

Spracovanie vibračného signálu v časovej oblasti udáva zrýchlenie a mechanických kmitov v závislosti od času a to vo všetkých troch snímaných smeroch x , y a z . Ako a_x , a_y a a_z sú označované efektívne hodnoty zrýchlení vyhodnotených z časových výstupov signálu v príslušných smeroch. Výsledkom spracovania signálu vo frekvenčnej oblasti sú frekvenčné spektrá, z ktorých sa určujú dominantné frekvencie f , pre jednotlivé smery x , y a z označované ako f_x , f_y a f_z .

Snahou praxe je optimalizovať rozpojovací proces. Niekedy sa vyžaduje čo najvyššia postupová rýchlosť vŕtania či razenia, inokedy minimálna spotreba energie či režim šetriaci rozpojovacie indentory, ale aj kombinácia uvedeného. Pristupujú tiež požiadavky na šetrenie životného prostredia a v neposlednom rade aj ochrana zdravia obsluhujúceho personálu.

Keďže my sa zameriavame na optimalizáciu rozpojovacieho procesu hornín z hľadiska dosahovania čo najvyššej postupovej rýchlosti vŕtania a minimálnej spotreby energie na rozpojenie horniny, zobrali sme do hodnotenia rýchlosť vŕtania a tzv. mernú objemovú energiu rozpojovania. Merná objemová energia rozpojovania predstavuje množstvo energie spotrebované na rozpojenie jednotky objemu horniny, [5].

Z hodnôt snímaných veličín ako aj zo známych údajov geometrie nástroja sa stanovuje merná objemová energia rozpojovania w podľa vzťahu

$$w = \frac{P}{S \cdot v} \quad [\text{J m}^{-3}], \quad (1)$$

kde:

- P – výkon [J s⁻¹],
- S – plocha prierezu vrtu [m²],
- v – rýchlosť vŕtania [m s⁻¹].

Pre posúdenie maximálnej efektivity rozpojovacieho procesu sme vzali do vyhodnocovania aj veličinu, ktorá predstavuje podiel rýchlosti vŕtania a mernej objemovej energie rozpojovania v/w . Hodnota tejto veličiny udáva dosiahnutú rýchlosť vŕtania pri spotrebe jednotky mernej objemovej energie rozpojovania. Túto veličinu označujeme aj ako rozpojovacia schopnosť nástroja.

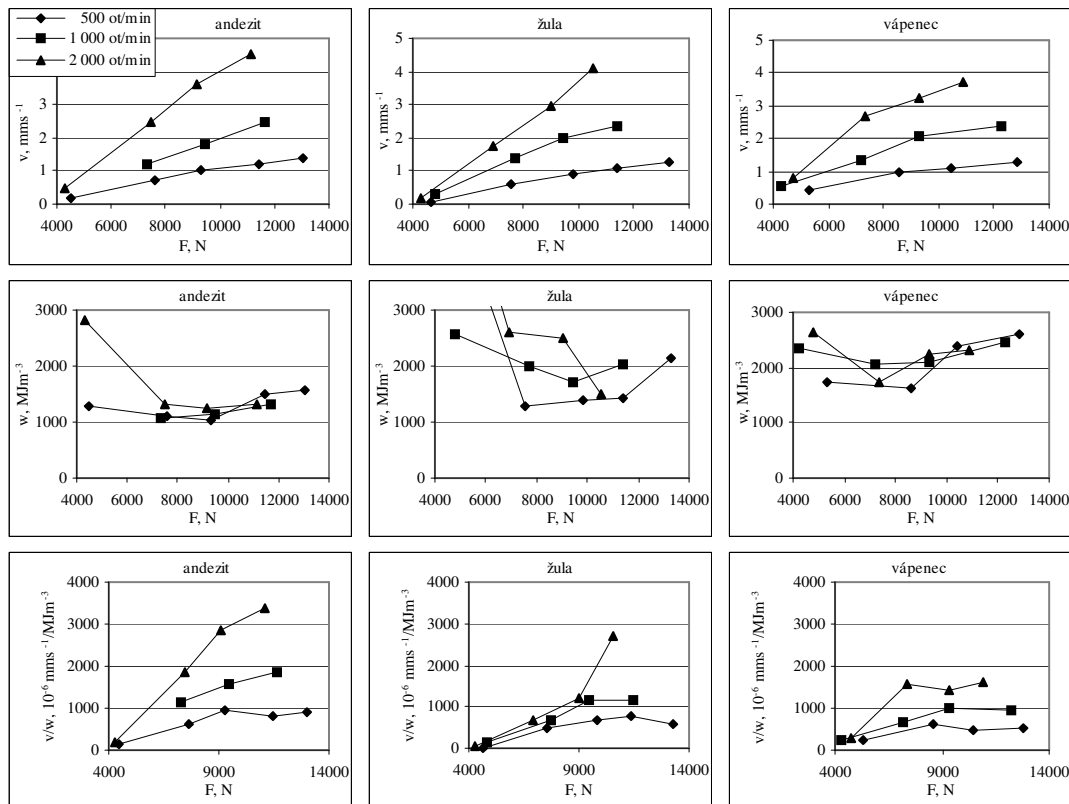
Na experimentovanie na laboratórnom stande na účely tohto článku boli použité vzorky andezitu z lokality Ruskov, žuly z Hnilca a vápenca zo Včelárov. Ako rozpojovací nástroj bola použitá 6 kanáliková diamantová impregnovaná korunka priemeru 46mm. Rotačné vŕtanie

prebiehalo pri konštantných režimoch, pri hodnotách otáčok $n = 500\text{min}^{-1}$, $1\,000\text{min}^{-1}$ a $2\,000\text{min}^{-1}$ a pri hodnotách prítlaku $F = 4\,500\text{N}$, $7\,500\text{N}$, $9\,500\text{N}$, $11\,500\text{N}$ a $13\,000\text{N}$.

3 EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY A DISKUSIA

Každá z experimentálnych hornín je rôzneho pôvodu a zloženia, horniny majú rôzne mechanické a technologické vlastnosti, čo sa prejavuje aj pri ich rozpojovaní.

Odzorom toho sú rozdielne závislosti rýchlosti vŕtania v , mernej objemovej energie rozpojovania w a tiež ich podielu v/w od režimových parametrov. Tieto závislosti pre všetky horniny sú zobrazené na obrázku 1.

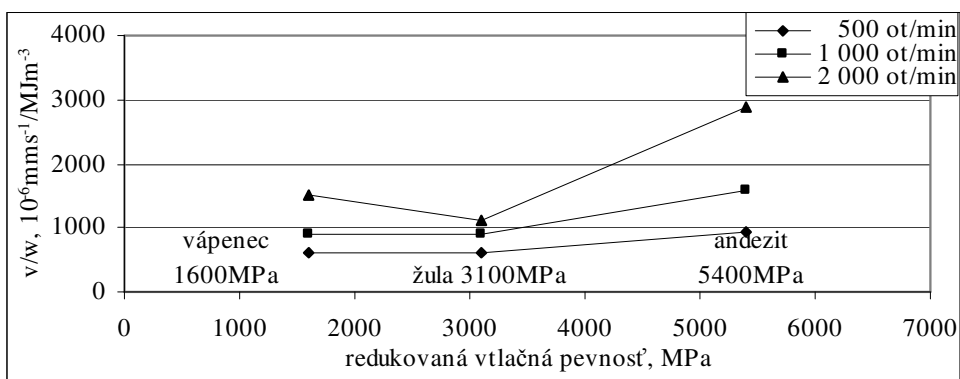


Obr.1: Závislosti rýchlosti vŕtania v , mernej objemovej energie rozpojovania w a ich podielu v/w od prítláčnej sily F pre andezit, žulu a vápenec pri troch rôznych otáčkových hladinách

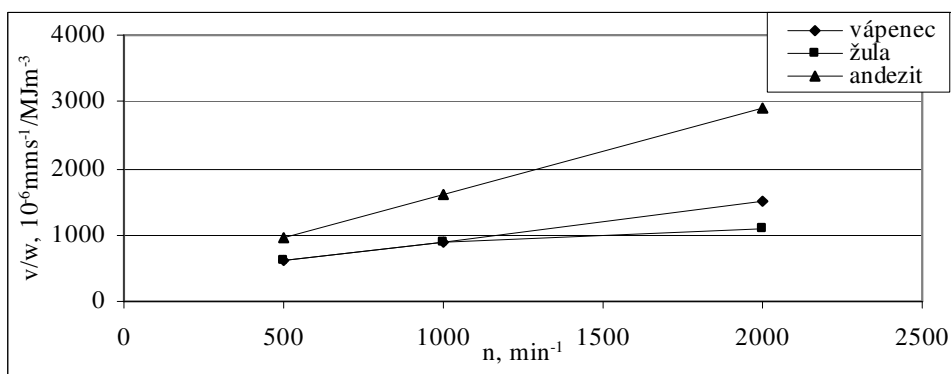
Priebehy z obrázku 1 je možné predstaviť aj ako závislosti od otáčok nástroja pre rôzne hladiny prítláčnych síl.

Závislosti jednotlivých veličín z obrázku 1 majú pre všetky tri horniny a všetky otáčkové hladiny podobný charakter. Rýchlosť vŕtania v závislosti od prítláčnej sily narastá a pri vyšších otáčkach nadobúda vyššie hodnoty. Závislosti mernej objemovej energie rozpojovania vykazujú lokálne minimá pre všetky horniny pri najnižších použitých otáčkach nástroja.

Závislosti v/w dávajú obraz o efektívnosti rozpojovacieho procesu. Pre lepšiu názornosť sú výsledky zobrazené aj v obrázkoch 2 a 3. Z týchto sa dá usúdiť, pre ktorú z vŕtaných hornín je použitý rozpojovací nástroj najvhodnejší a v akom režime má pracovať, keďže je žiadúce vzhľadom na naše optimalizačné kritérium, aby veličina v/w dosahovala maximálne hodnoty. Hodnoty veličín v/w pre obrázky 2 a 3 prislúchajú jednej konkrétnej prítláčnej sile z rozsahu prítláčnych síl spoločného pre všetky tri horniny v oblasti s maximálnymi hodnotami podielu v/w .



Obr.2: Závislosť v/w od redukovanej vŕtačnej pevnosti použitých hornín



Obr.3: Závislosť v/w od otáčok rozpojovacieho nástroja

Z obrázku 2 je vidieť, že použitá vŕtacia korunka má pracovať v režime s najvyššími otáčkami použitými na experimentovanie, najvhodnejšie sú teda otáčky 2000 min⁻¹ a to pre každú z troch použitých hornín. Pri týchto otáčkach dosahuje v/w najvyššie hodnoty.

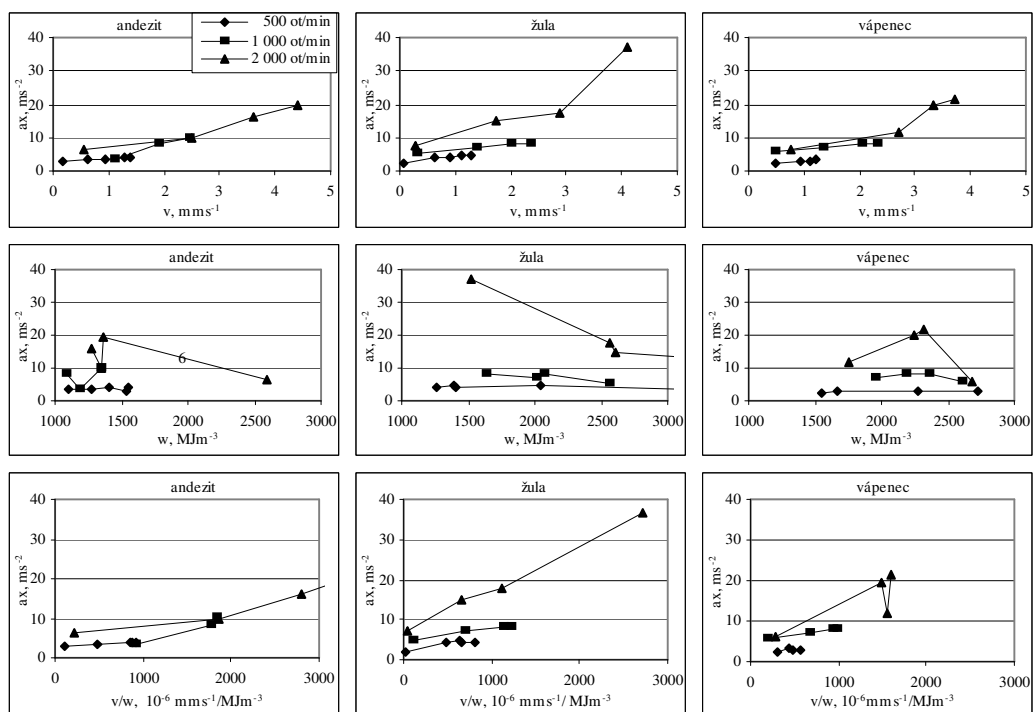
Obrázok 3 hovorí o tom, pre ktorú horninu je použitá vŕtacia korunka najvhodnejšia, je to andezit. Čo sa týka vápenca a žuly pri najvyšších otáčkach je vŕtacia korunka vhodnejšia pre vŕtanie vápenca a pri nižších otáčkach je rovnako vhodná pre vápenec aj žulu.

Zo závislostí podielu v/w od otáčok nástroja pre rôzne hladiny prítláčnych síl možno urobiť obdobnú analýzu aj pre zistenie najvhodnejších prítláčnych síl na nástroj pre jednotlivé horniny.

Ako už bolo uvedené, zmena hociktorej zo súčastí rozpojovacieho procesu či zmena režimu vplývajú na vibračný signál a menia jeho charakteristiky. Naším cieľom je riadiť rozpojovací proces cez vibračný signál vzhľadom na maximálnu efektivitu rozpojovania. Len pri jednoznačnom poznaní závislostí a_x , a_y , a_z a f_x , f_y , f_z od režimových veličín a iných faktorov bude možné nahradiť riadenie procesu pomocou režimových veličín riadením cez snímaný vibračný signál počas rozpojovacieho procesu hornín. Je preto potrebné poznať aj súvislosti charakteristík vibračného signálu a sledovaných veličín rozpojovacieho procesu a to rýchlosti vŕtania v , mernej objemovej energie rozpojovania w a hlavne ich podielu v/w .

Keďže vibrácie v smere vŕtania prevládajú a sú dominantné, čo už bolo ukázané v inej práci [3], v ďalšej časti príspevku zoberieme do hodnotenia len charakteristiky vibračného signálu v smere vŕtania x .

Na obrázku 4 sú závislosti efektívnych hodnôt zrýchlenia a_x od rýchlosti vŕtania v , mernej objemovej energie rozpojovania w a od ich podielu v/w pre všetky horniny a tri otáčky nástroja.



Obr.4: Efektívne hodnoty zrýchlenia a_x v závislosti od v , w a ich podielu v/w

Na obrázku 5 sú závislosti dominantných frekvencií f_x od rýchlosti vŕtania v , mernej objemovej energie rozpojovania w a od ich podielu v/w pre všetky horniny a rôzne otáčky nástroja.

Charakter závislostí v obrázkoch 4 a 5 nie je uhladený a jednoznačný, ale pri ich analýze musíme zobrať do úvahy, že ide o experimentálne priebehy a v podstate neopakovateľné. Hoci bola použitá jedna vŕtacia impregnovaná korunka, počas vŕtania s korunkou postupne s rastom odvrtu dochádza k jej zapracovaniu a opotrebeniu. Teda tento rozpojovací nástroj nie je pri jednotlivých experimentoch úplne rovnaký.

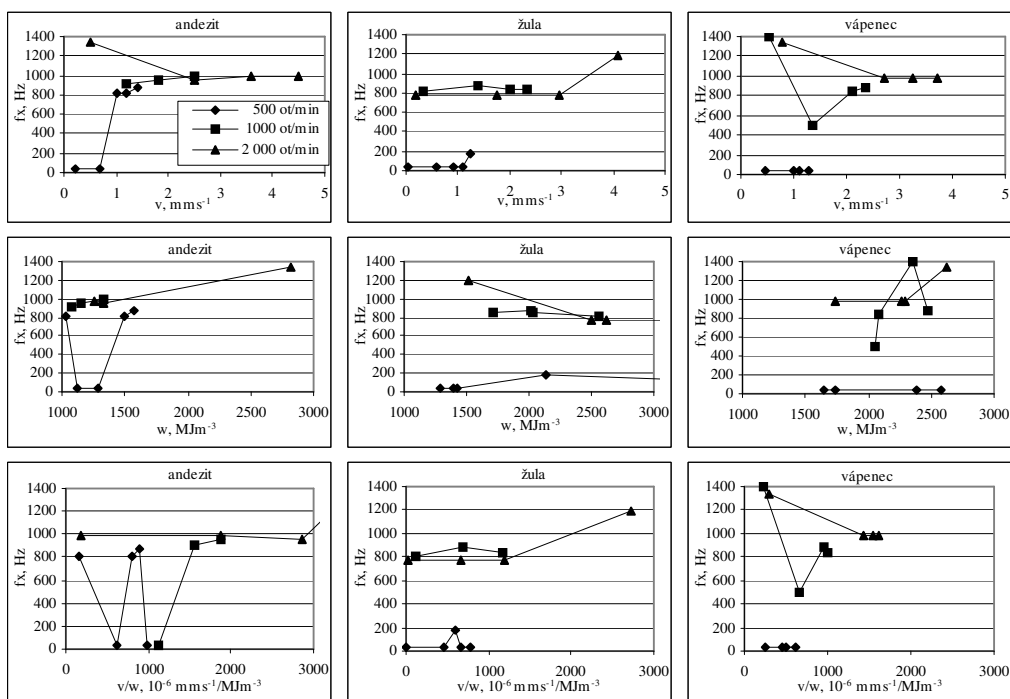
Zároveň každé vŕtanie prebiehalo v inej vzorke horniny. Hornina je rôznorodý neopakovateľný materiál a zároveň vzorky mohli mať rôzne skryté poruchy či vady, ktoré nebolo vidieť.

Napriek tomu, že charakter týchto závislostí nie je jednoznačný, ak uvažíme, že ako najvhodnejšie otáčky na vŕtanie sa javia najvyššie z použitých, možno z obrázkov 4 a 5 konštatovať, že efektívne hodnoty a_x vibračného signálu v smere vŕtania pri najnižších hodnotách mernej objemovej energie rozpojovania ako aj pri najvyšších hodnotách veličiny v/w vykazujú najvyššie hodnoty.

Dominantné frekvencie v smere vŕtania f_x v závislosti od otáčok majú skokovitý charakter, nadobúdajú len diskkrétne hodnoty. Tieto frekvencie pri najvyšších otáčkach a pre maximálne hodnoty v/w vykazujú hodnoty na vyšších frekvenčných hladinách.

4 ZÁVER

Z uvedených výsledkov vyplýva, že pri využití vibračného signálu na riadenie rozpojovacieho procesu so zameraním sa na čo najnižšiu spotrebu energie na rozpojenie horniny ako aj na čo najvyššiu dosahovanú rýchlosť vŕtania, teda maximálnu efektivitu rozpojovacieho procesu hornín, je potrebné viesť rozpojovací proces tak, aby sa dosahovala čo najvyššia efektívna hodnota zrýchlenia a_x vibračného signálu ako aj čo najvyššia hodnota dominantnej frekvencie f_x pri vŕtaní v konkrétnej hornine, pričom sa nemusia sledovať režimové parametre. Tieto vývody platia pre malopriemerové rotačné vŕtanie v rozsahu odexperimentovaných režimových parametrov.



Obr.5: Dominantné frekvencie f_x v závislosti od v , w a ich podielu v/w

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol v rámci riešenia grantovej úlohy 2/0111/08 s finančným príspevkom od Vedeckej grantovej agentúry Slovenskej akadémie vied a Ministerstva školstva SR.

LITERATÚRA

- [1] KOSTÚR, K. & FUTÓ, J. Optimization of rock disintegration based on acoustic background of drilling machine. *Mechanics*. Vol. 26, no. 1 (2007), pp. 1-7. ISSN 1734-8927.
- [2] LEŠŠO, I. & FUTÓ, J.: Optimization methods of disintegration of rocks by rotary drilling. In *Proceedings of Inter. carpathian control conference*, Slovak republic, ICCC'2000, p.455-488.
- [3] MIKLÚŠOVÁ, V. Vibračný signál ako odozva horninového prostredia pri vŕtaní. In *Zakládání staveb Brno 2009*, sborník příspěvku z 37. konference se zahraniční účastí, s.19-22. ISBN: 978-80-86604-46-6.
- [4] MIKLÚŠOVÁ, V. & IVANIČOVÁ, L. Effect of disintegration regime change on vibration signal in rock drilling process. *Transaction of the Universities of Košice*. 3/2009, pp. 99-102. ISSN: 1335-2334.
- [5] MIKLÚŠOVÁ, V. & IVANIČOVÁ, L. Energetický prístup k hodnoteniu rozpojovacieho procesu hornín. *Acta Montanistica Slovaca*. Roč.13, č.1, 2008, s.17-24. ISSN 1335-1788.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Igor Leššo, , CSc., Technická univerzita v Košiciach